



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Ηλεκτρονικά Ισχύος II

Ενότητα 1: Μετατροπείς Συνεχούς Τάσης σε Συνεχή
(DC-DC Converters)

Δρ.-Μηχ. Εμμανουήλ Τατάκης, Καθηγητής
Πολυτεχνική Σχολή

Τμ. Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας
Υπολογιστών

Σκοποί ενότητας

- Παρουσίαση και επεξήγηση βασικών τοπολογιών των μετατροπέων συνεχούς τάσης σε συνεχή



Περιεχόμενα ενότητας

- Μετατροπείς συνεχούς τάσης σε συνεχή με τρανζίστορ ισχύος (Buck, Boost, Buck/Boost).
- Μετατροπείς συνεχούς τάσης σε συνεχή με θυρίστορ (Chopper)
- Ρύθμιση στροφών μηχανής συνεχούς ρεύματος με χρήση των ανωτέρω τοπολογιών



Διάλεξη 4η

Μετατροπέας ΣΤ-ΣΤ ανύψωσης τάσης (Boost) – Μέρος 1ο



ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ II

ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΣΥΝΕΧΗ ΤΑΣΗ

(DC-DC Converters)

Ο ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΣΤ-ΣΤ
ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

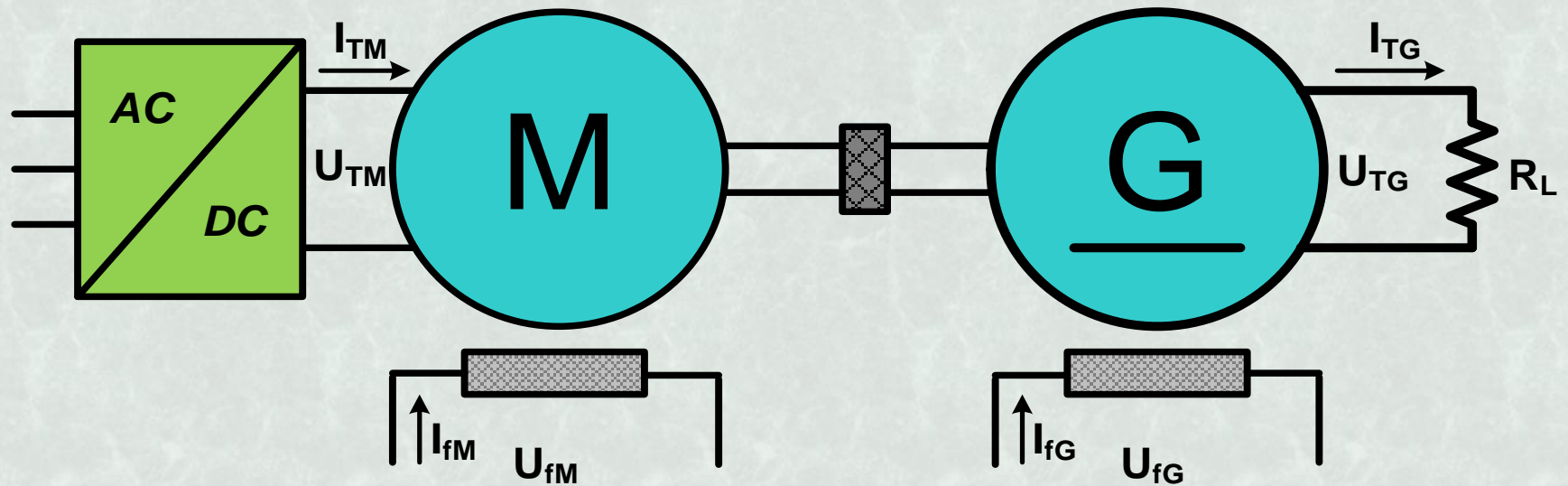
(Boost DC-DC Converter)

Μέρος 1^ο



ΠΑΡΕΝΘΕΤΙΚΑ-ΕΚΚΡΕΜΟΤΗΤΕΣ

Λειτουργία Ηλεκτροκινητήριου Συστήματος



Ηλεκτροκινητήριο Σύστημα

Λειτουργία σε ονομαστική κατάσταση.

Όταν:

$$I_{fG} = \frac{I_{fGN}}{2} \Rightarrow (C \cdot \Phi)_G \downarrow \Rightarrow I_{TG} = \frac{(C \cdot \Phi)_G \cdot \Omega_G}{R_L + R_{TG}} \downarrow \Rightarrow M_{eG} = (C \cdot \Phi)_G \cdot I_{TG} \approx M_{\alpha\xi G} \downarrow$$

$$\left. \begin{array}{l} M_{\alpha\xi G} = M_{\alpha\xi M} \downarrow \\ (C \cdot \Phi)_M = ct \\ M_{\alpha\xi M} \approx M_{eM} \end{array} \right\} \Rightarrow \Omega_M \approx \left[\frac{U_{TM}}{(C \cdot \Phi)_M} - \frac{R_{TM}}{(C \cdot \Phi)_M^2} \cdot M_{\alpha\xi M} \right] \uparrow$$

ΠΑΡΕΝΘΕΤΙΚΑ-ΕΚΚΡΕΜΟΤΗΤΕΣ

Απόδειξη τύπου V_o/V_i για Buck σε DCM

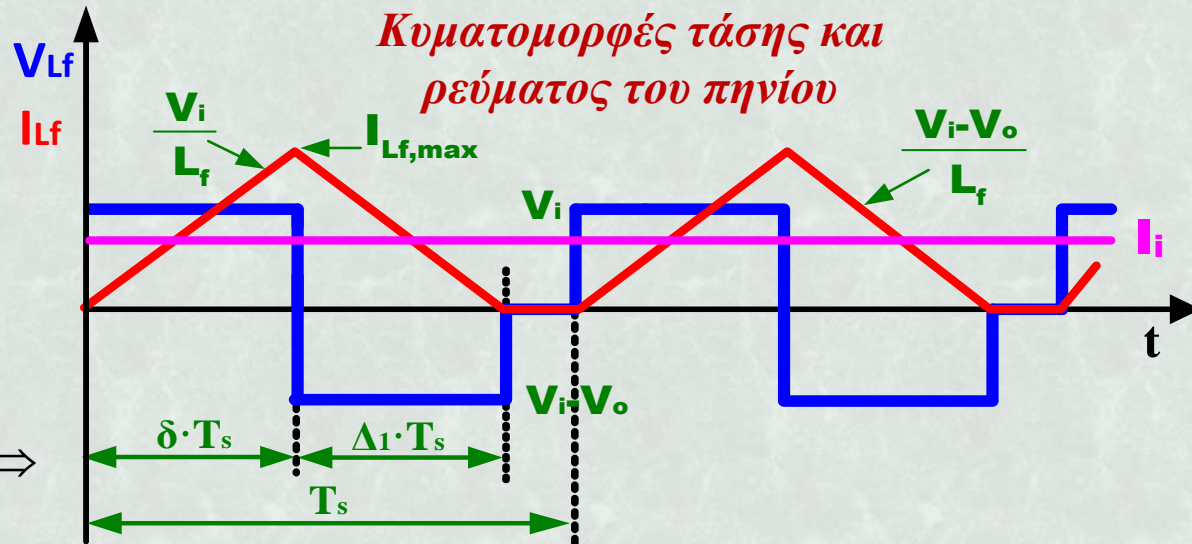
$$(V_i - V_o) \cdot \delta \cdot T_s = V_o \cdot \Delta_1 \cdot T_s$$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{\delta}{\delta + \Delta_1}$$

$$I_o = \frac{1}{T_s} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot I_{L_f, \max} \cdot (\delta + \Delta_1) \cdot T_s \right]$$

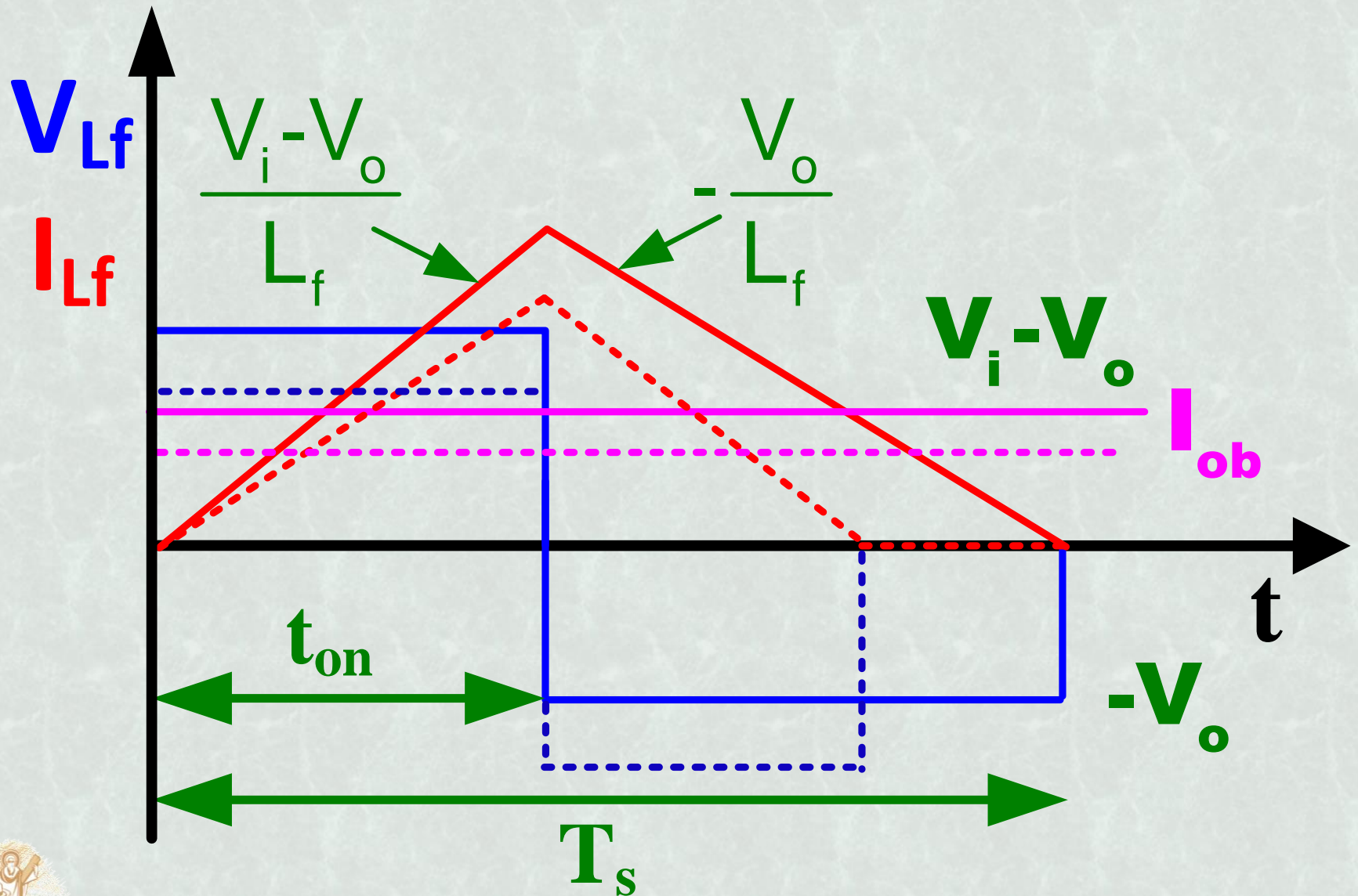
$$I_o = \frac{(V_i - V_o) \cdot \delta \cdot T_s}{2 \cdot L_f} \cdot (\delta + \Delta_1) \Rightarrow I_{No,i} = \frac{I_o}{\left[\frac{V_i \cdot T_s}{L_f} \right]} = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \left(\frac{V_o}{V_i} \right) \right) \cdot \delta \cdot (\delta + \Delta_1)$$

$$I_{No,i} = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \left(\frac{V_o}{V_i} \right) \right) \cdot \delta \cdot \frac{\delta}{\left(\frac{V_o}{V_i} \right)} \Rightarrow 2 \cdot I_{No,i} = \delta^2 \cdot \frac{\left(1 - \left(\frac{V_o}{V_i} \right) \right)}{\left(\frac{V_o}{V_i} \right)} \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{\delta^2}{\delta^2 + 2 \cdot I_{No,i}}$$



ΠΑΡΕΝΘΕΤΙΚΑ-ΕΚΚΡΕΜΟΤΗΤΕΣ

Σχηματική ερμηνεία της αύξησης της V_o για Buck σε DCM



Ασκήσεις στο μετατροπέα Buck

Άσκηση 1^η

Ένας μετατροπέας Σ.Τ.-Σ.Τ. υποβιβασμού τάσης (Buck) τροφοδοτεί με τάση 24V ένα ωμικό φορτίο αντίστασης 6Ω. Η τάση εισόδου του μετατροπέα είναι ίση με 60V, η διακοπτική συχνότητα λειτουργίας του είναι 100kHz, ενώ ο μετατροπέας λειτουργεί στην περιοχή συνεχούς αγωγής (CCM). Να υπολογισθούν:

- α) Ο λόγος κατάτμησης δ .
- β) Η ελάχιστη τιμή του πηνίου εξομάλυνσης L_f ώστε ο μετατροπέας να λειτουργεί στην περιοχή συνεχούς αγωγής.
- γ) Η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο εξομάλυνσης, εάν η τιμή της επαγωγής του πηνίου αυτού ισούται με 240μH.
- δ) Η ισχύς που απορροφάται από την πηγή και η ισχύς που καταναλώνεται στο ωμικό φορτίο.

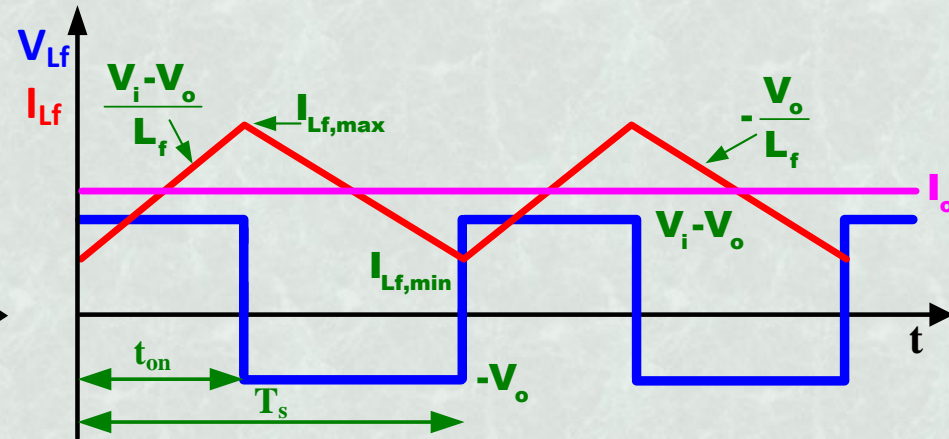
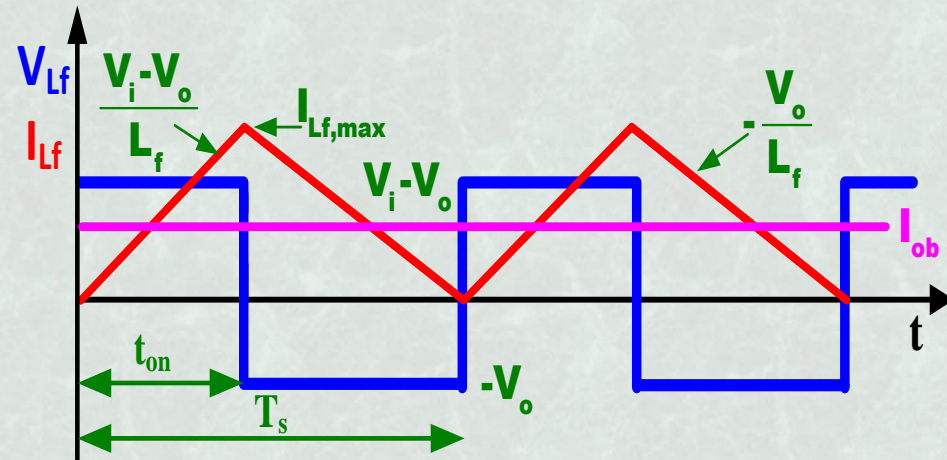


ΠΑΡΕΝΘΕΤΙΚΑ-ΕΚΚΡΕΜΟΤΗΤΕΣ

Ασκήσεις στο μετατροπέα Buck

Όριο μεταξύ συνεχούς και ασυνεχούς αγωγής

Συνεχής αγωγή (CCM)



$$I_{o,b} = I_{L_f,b} = \frac{V_i \cdot T_s}{L_f} \cdot \frac{\delta \cdot (1-\delta)}{2}$$

$$= \frac{V_o \cdot T_s}{L_f} \cdot \frac{(1-\delta)}{2}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \delta$$

$$I_o = \frac{(I_{L_f,max} + I_{L_f,min})}{2}, \quad I_i = \frac{(I_{L_f,max} + I_{L_f,min})}{2} \cdot \delta$$

$$I_{L_f,max} - I_{L_f,min} = \frac{V_i}{L_f} \cdot \delta \cdot (1-\delta) \cdot T_s = \frac{V_o}{L_f} \cdot (1-\delta) \cdot T_s$$



Ασκήσεις στο μετατροπέα Buck

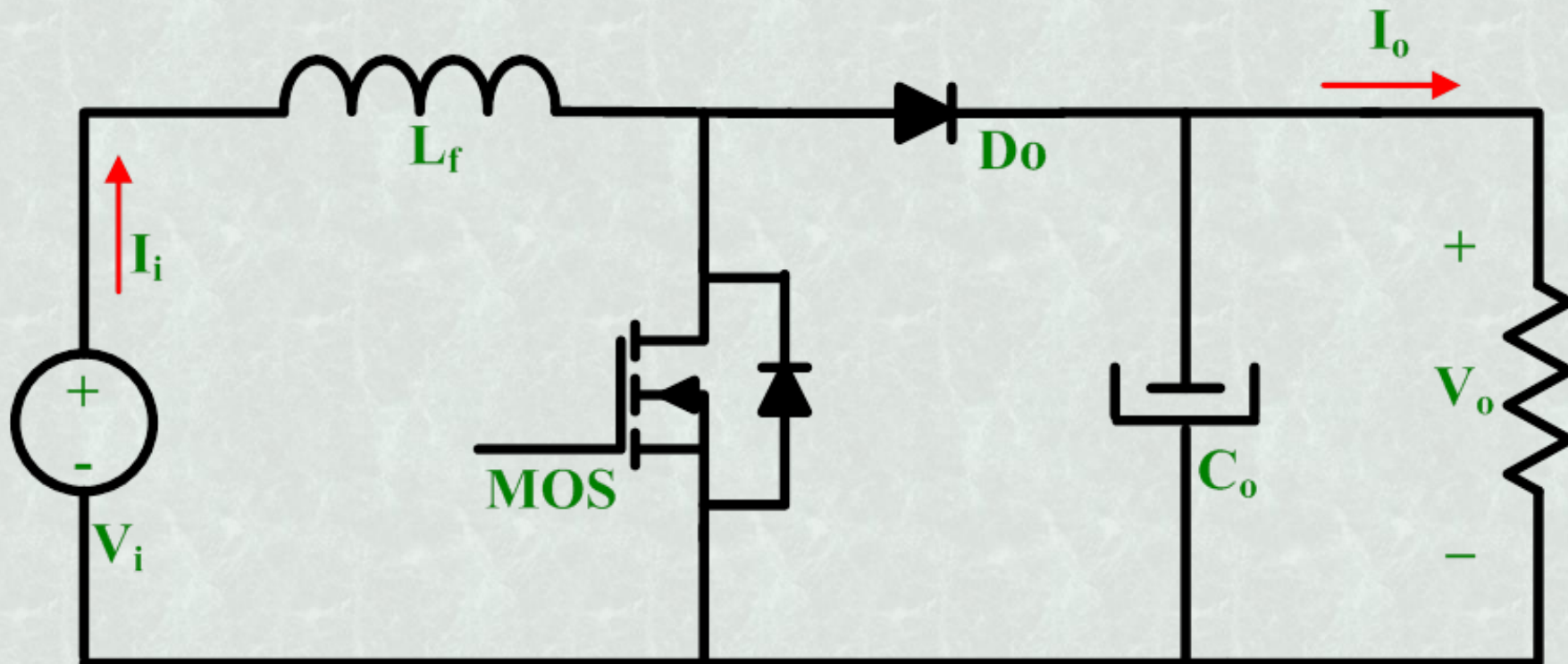
Άσκηση 2^η

Θεωρήστε μετατροπέα $\Sigma.T.-\Sigma.T.$ υποβιβασμού τάσης (Buck) με τάση εισόδου $V_i=48V$, τάση εξόδου $V_o=6V$ και ισχύ εξόδου $P_o=3W-30W$. Η συχνότητα λειτουργίας είναι $f_s=30kHz$. Να υπολογισθεί η τιμή του πηνίου εξομάλυνσης ώστε το κύκλωμα να λειτουργεί στην:

- **περιοχή συνεχούς αγωγής**, σε οποιασδήποτε συνθήκες λειτουργίας.
- **περιοχή ασυνεχούς αγωγής**, σε οποιασδήποτε συνθήκες λειτουργίας.



ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ Σ.Τ.-Σ.Τ. ΤΥΠΟΥ BOOST



Κυκλωματικό διάγραμμα

Όπως δηλώνει και το όνομά του, είναι ένας μετατροπέας Σ.Τ. σε Σ.Τ. ανύψωσης τάσης (step-up ή boost converter) και παράγει μια συνεχή τάση εξόδου υψηλότερη από τη συνεχή τάση εισόδου.

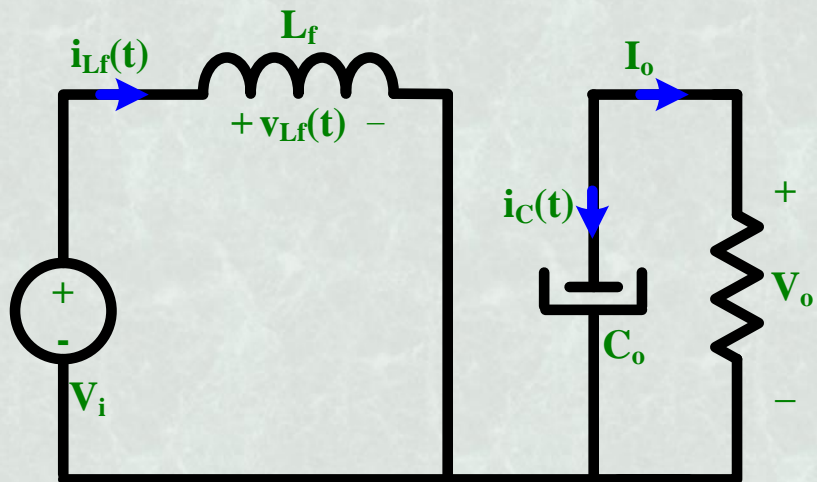


ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ BOOST

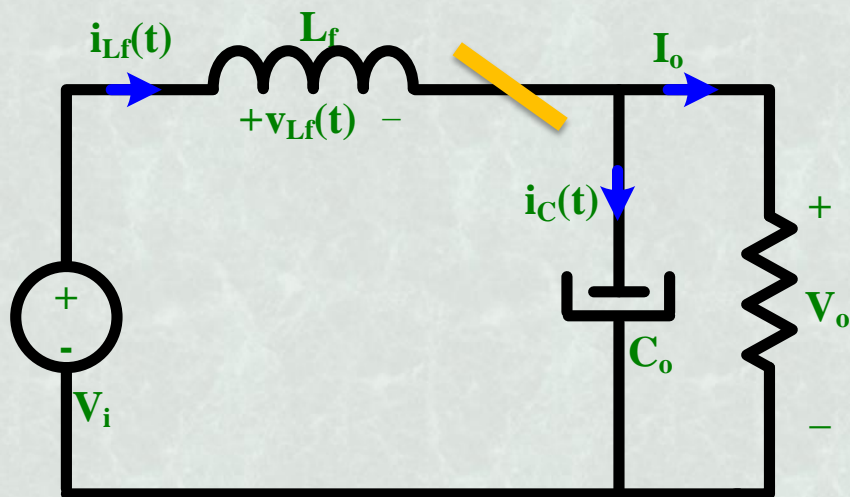
- Η θεωρητική ανάλυση της λειτουργίας μετατροπέα Boost πραγματοποιείται στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας και στηρίζεται στην υπόθεση ότι όλα τα στοιχεία του κυκλώματος είναι ιδανικά. Δηλαδή:
 - ❖ Οι ημιαγωγικοί διακόπτες παρουσιάζουν:
 - μηδενικούς χρόνους έναυσης και σβέσης
 - μηδενικές απώλειες αγωγής
 - μηδενική πτώση τάσης
 - ❖ Ο πυκνωτής εξόδου είναι πολύ μεγάλος (ώστε η τάση εξόδου να μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν σταθερή).
- Δύο περιοχές λειτουργίας:
 - Περιοχή **συνεχούς αγωγής (CCM)**.
 - Περιοχή **ασυνεχούς αγωγής (DCM)**.



ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ BOOST



Διακόπτης σε αγωγή

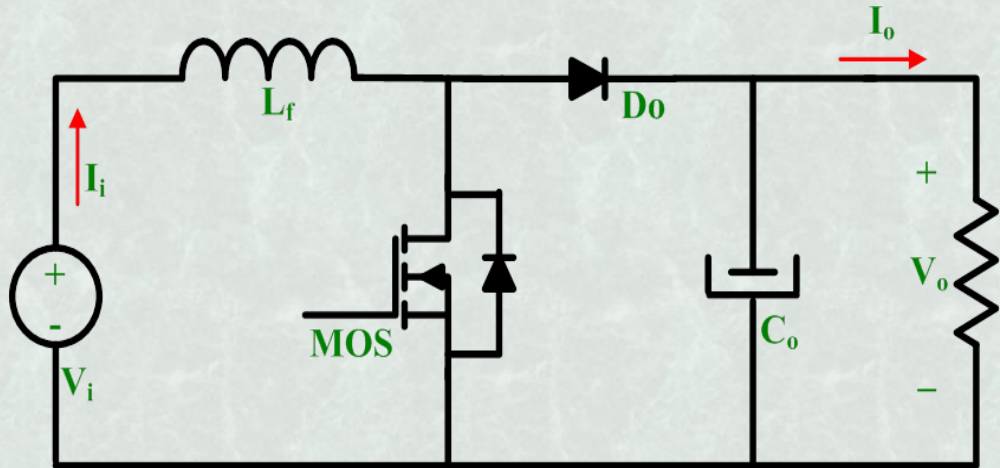
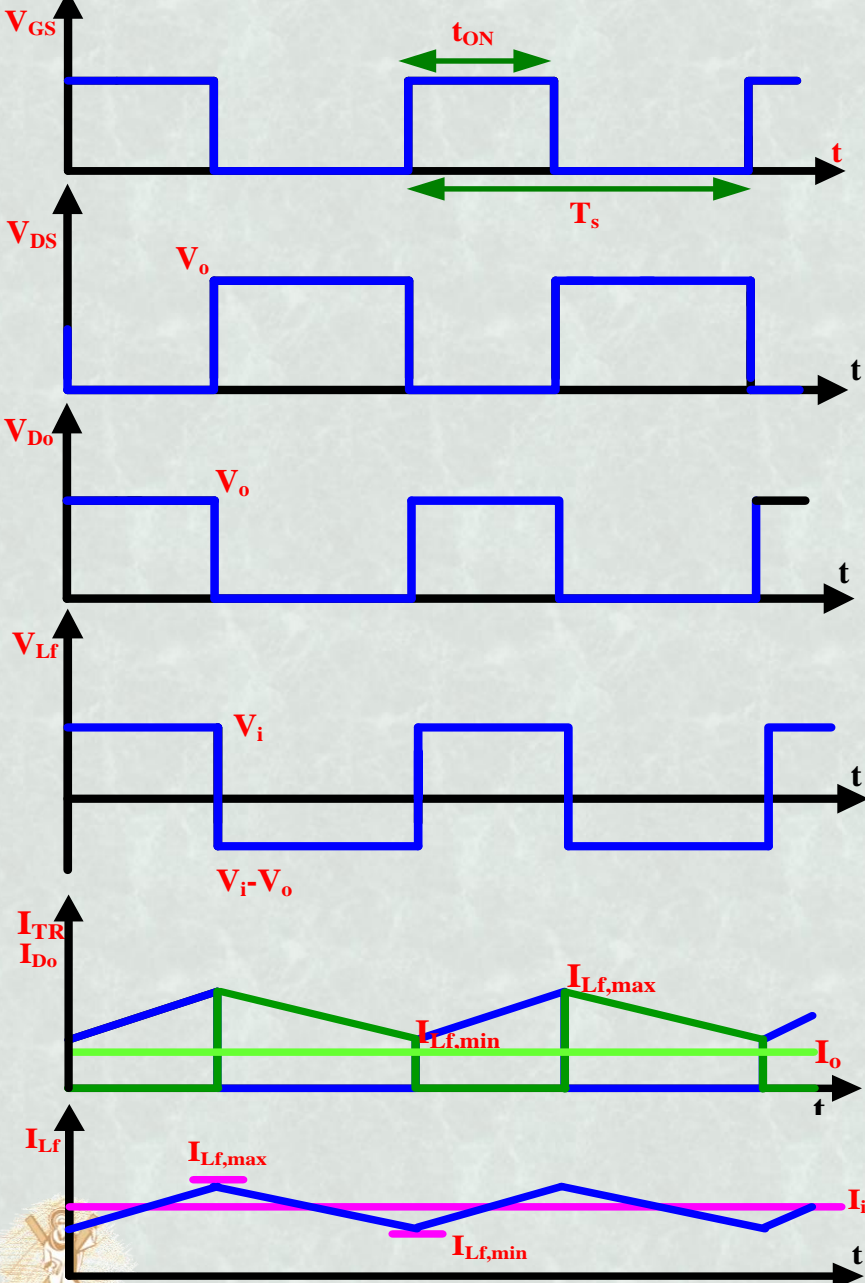


Διακόπτης σε αποκοπή

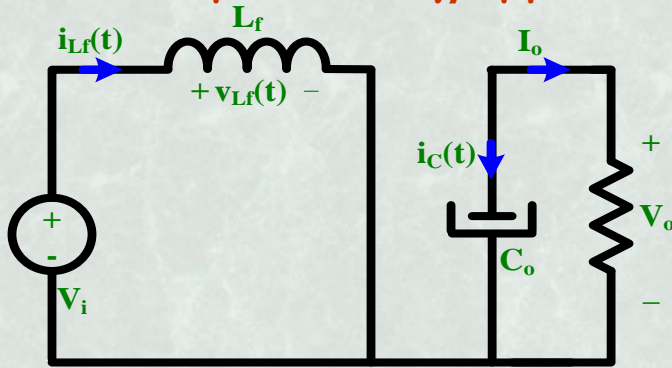
- Όταν το **τρανζίστορ άγει**, ενέργεια αποθηκεύεται στο πηνίο εξομάλυνσης L_f .
- Η διάδος ελεύθερης διέλευσης πολώνεται ανάστροφα και δεν άγει, απομονώνοντας τη βαθμίδα εξόδου (τροφοδοσία φορτίου από πυκνωτή).
- Όταν το **τρανζίστορ δεν άγει**, η βαθμίδα εξόδου απορροφά ενέργεια από την επαγωγή L_f και από την είσοδο.
- Η διαφορά δυναμικού στα άκρα της επαγωγής L_f αναστρέφεται και η διάδος άγει.
- **Τρίτο στάδιο:** ενέργεια πηνίου μηδενίζεται, διάδος παύει να άγει.



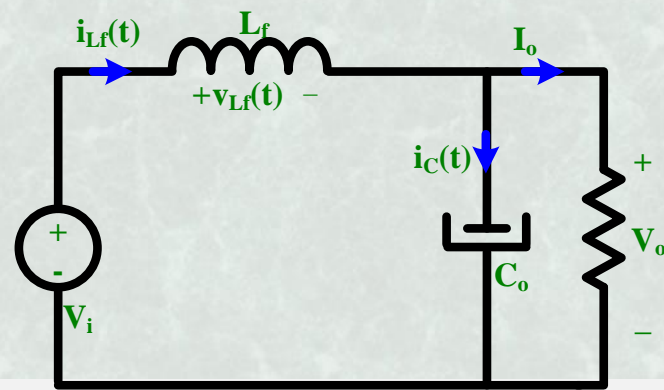
Κυματομορφές τάσεων και ρευμάτων στον Boost για CCM



Κυκλωματικό Διάγραμμα του Boost

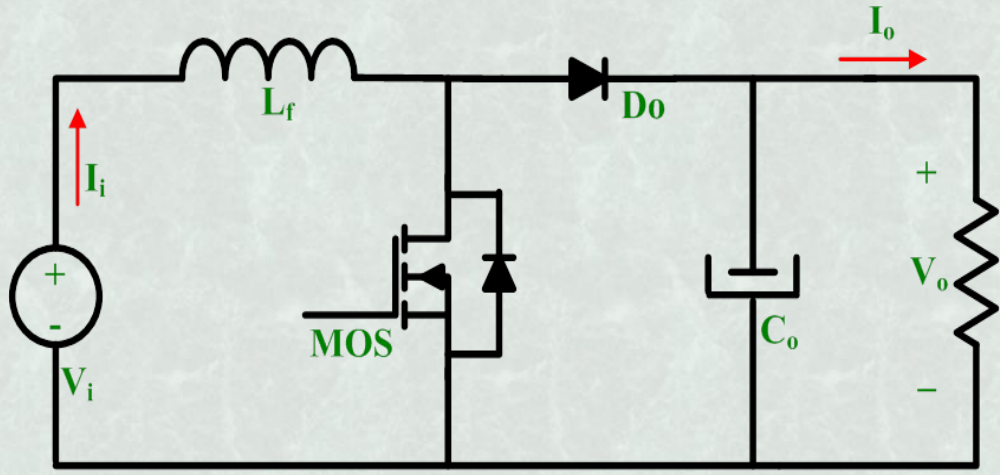
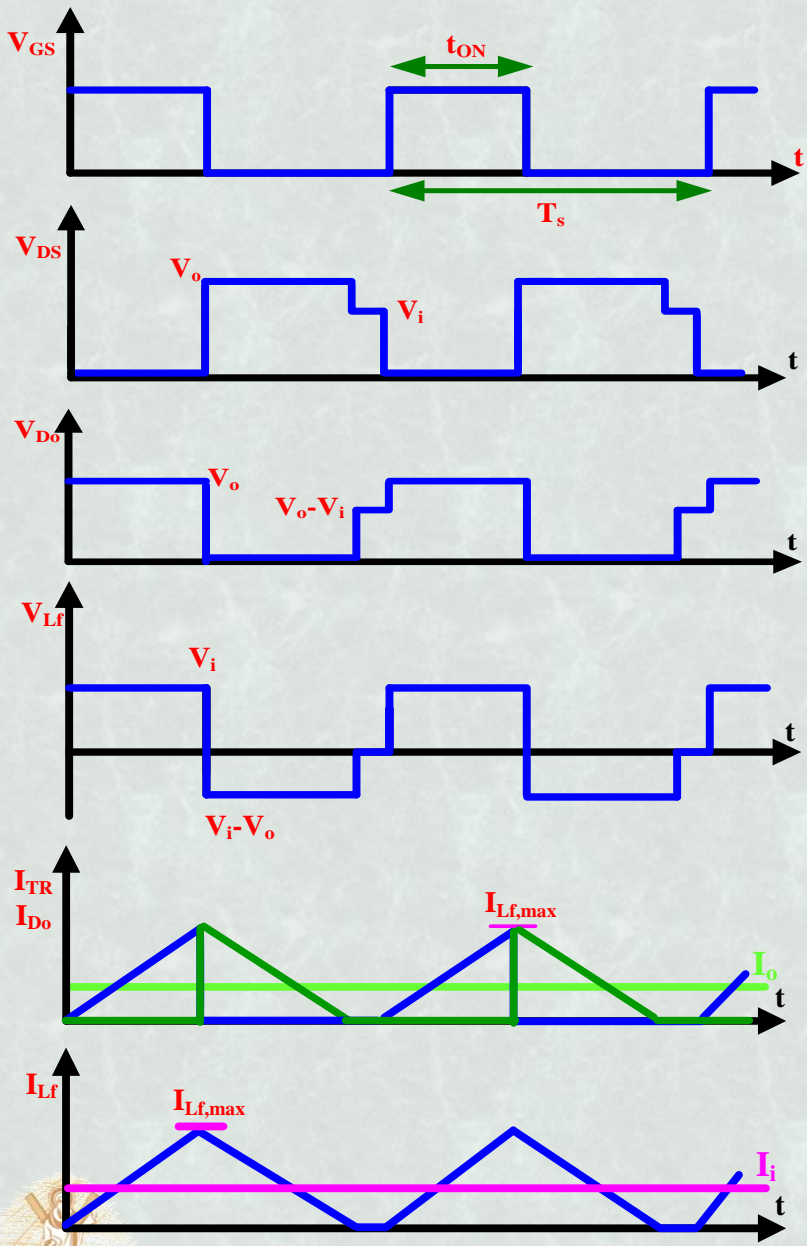


Διακόπτης σε αγωγή

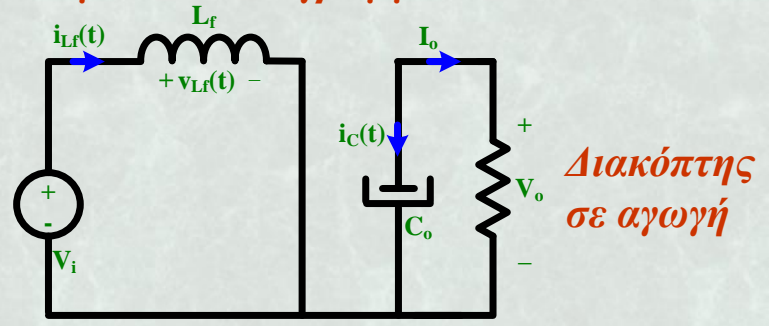


Διακόπτης σε αποκοπή

Κυματομορφές τάσεων και ρευμάτων στον Boost για DCM

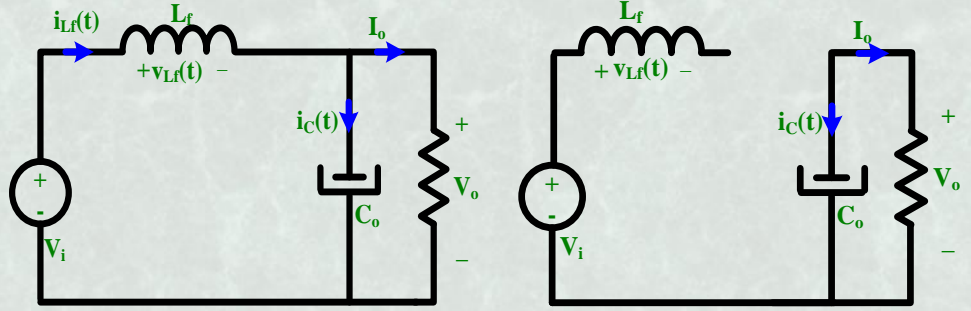


Κυκλωματικό Διάγραμμα του Boost



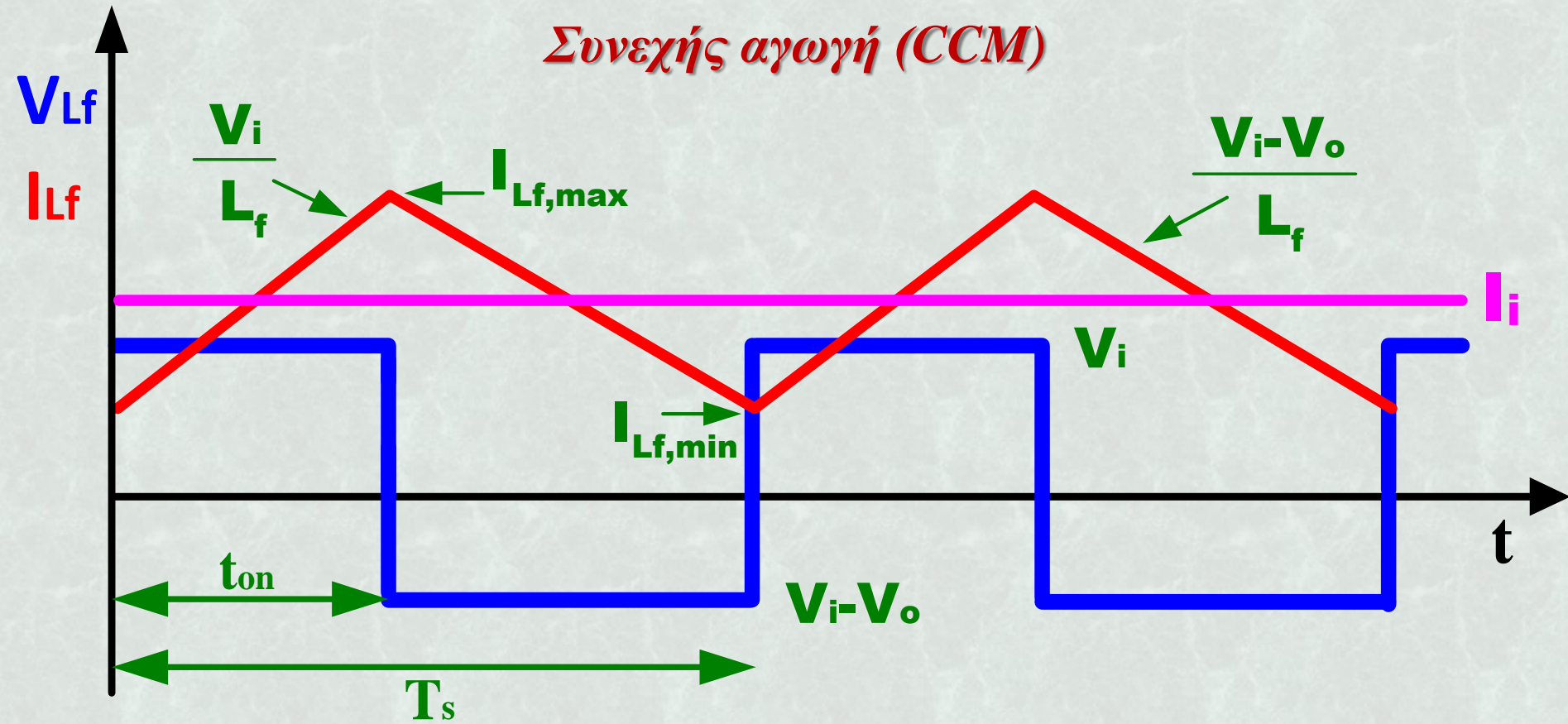
Διακόπτης σε αγωγή

Διακόπτης σε αποκοπή $I_L \neq 0$ Διακόπτης σε αποκοπή $I_L = 0$



Βασικότερες εξισώσεις λειτουργίας Boost

Συνεχής αγωγή (CCM)



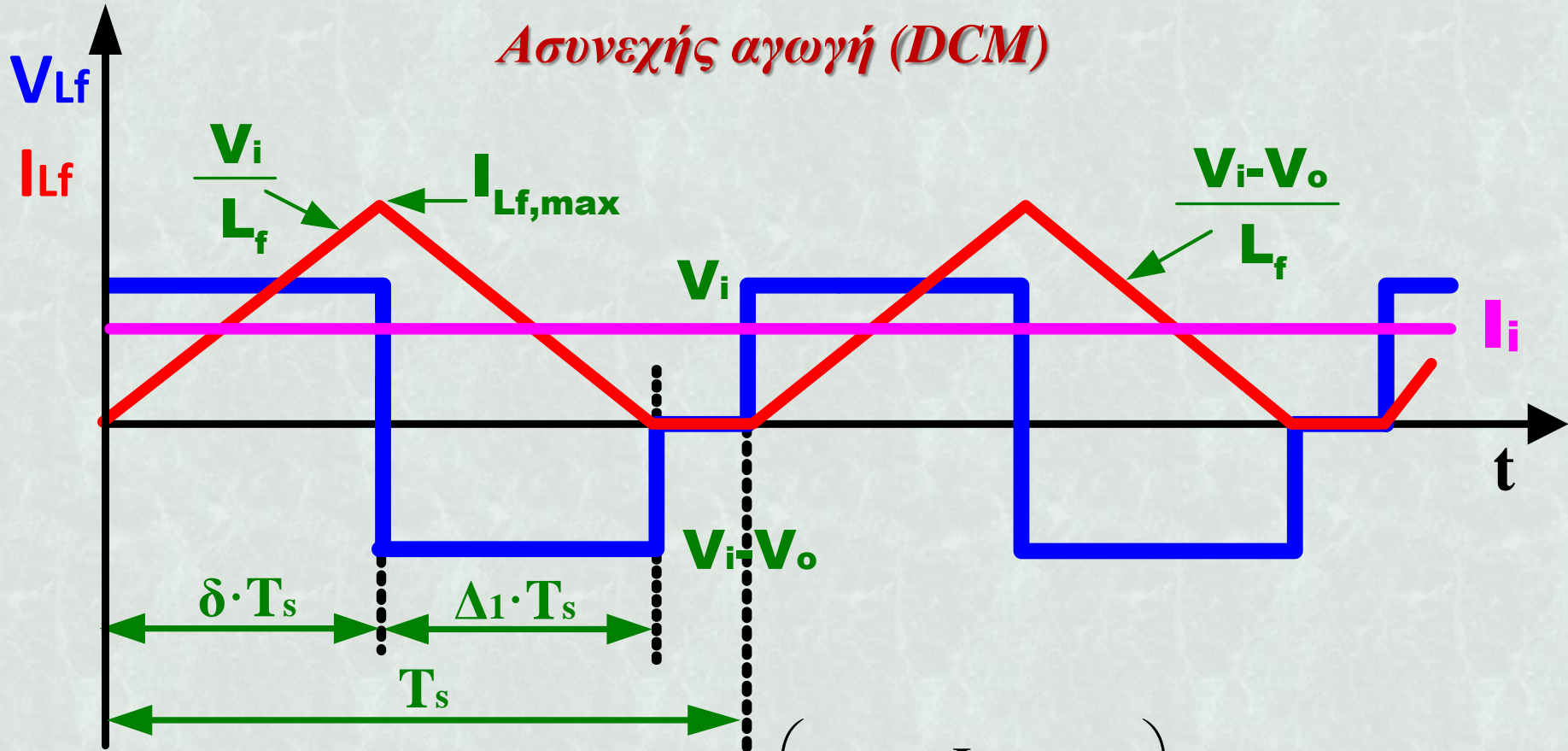
$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1-\delta}, \quad I_o = \frac{(I_{Lf,max} + I_{Lf,min})}{2} \cdot (1-\delta), \quad I_i = \frac{(I_{Lf,max} + I_{Lf,min})}{2}$$

$$I_{Lf,max} - I_{Lf,min} = \frac{V_i}{L_f} \cdot \delta \cdot T_s = \frac{V_o - V_i}{L_f} \cdot (1-\delta) \cdot T_s = \frac{V_o}{L_f} \cdot \delta \cdot (1-\delta) \cdot T_s$$



Βασικότερες εξισώσεις λειτουργίας Boost

Ασυνεχής αγωγή (DCM)



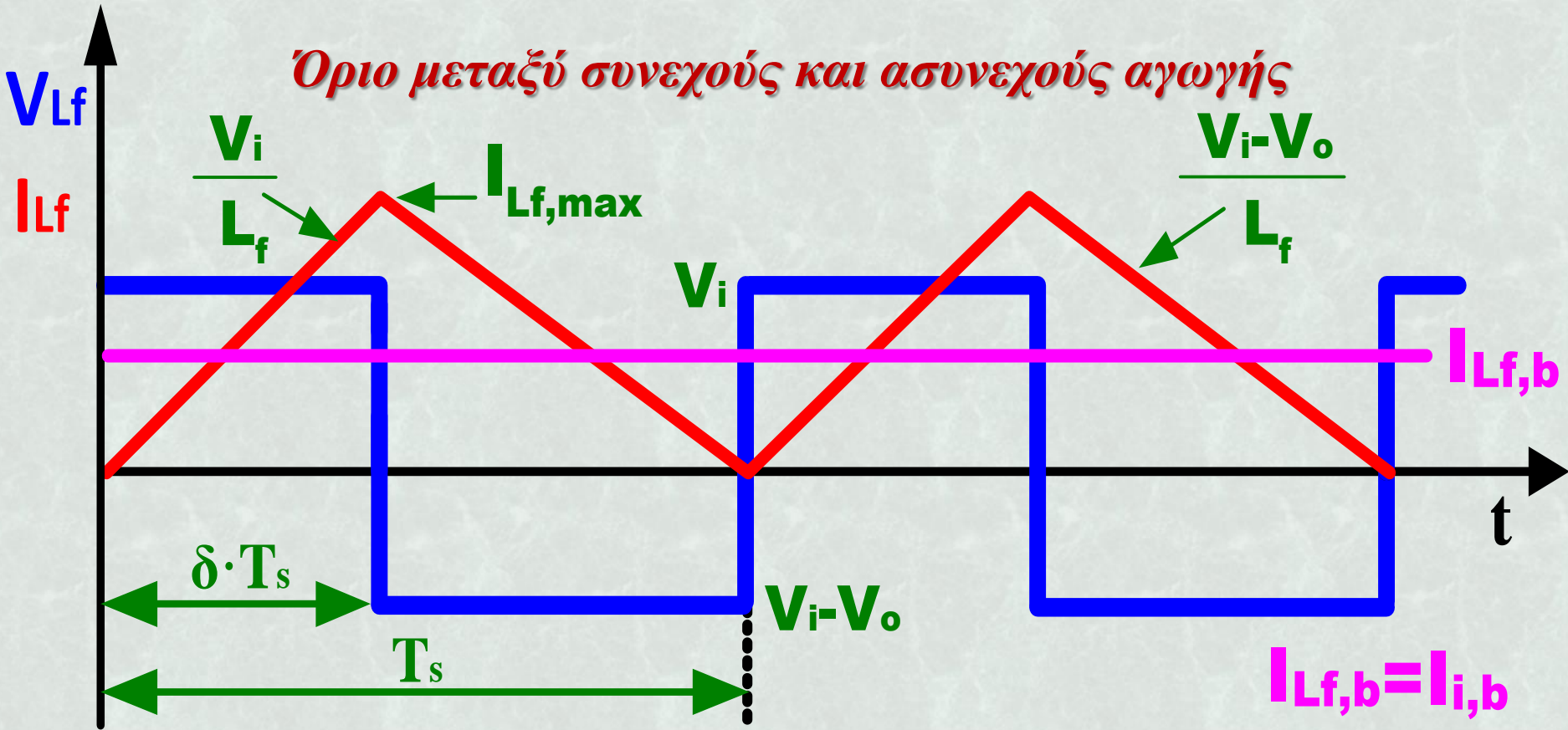
ΠΡΟΣΟΧΗ

ρεύμα εξόδου = μέση τιμή
ρεύματος διόδου

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{2 \cdot \left(\frac{I_o}{\left[\frac{(V_i \cdot T_s)}{L_f} \right]} \right) + \delta^2}{2 \cdot \left(\frac{I_o}{\left[\frac{(V_i \cdot T_s)}{L_f} \right]} \right)} = \frac{\delta^2 + 2 \cdot I_{No,i}}{2 \cdot I_{No,i}}$$



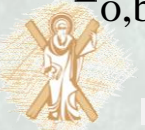
Βασικότερες εξισώσεις λειτουργίας Boost



$$I_{Lf,b} = \frac{(V_o - V_i) \cdot (1-\delta) \cdot T_s}{L_f \cdot 2} = \frac{V_i \cdot T_s}{L_f} \cdot \frac{\delta}{2} = \frac{V_o \cdot T_s}{L_f} \cdot \frac{\delta \cdot (1-\delta)}{2}$$

$$I_{o,b} = \frac{(V_o - V_i) \cdot (1-\delta)^2 \cdot T_s}{L_f \cdot 2} = \frac{V_i \cdot T_s}{L_f} \cdot \frac{\delta \cdot (1-\delta)}{2} = \frac{V_o \cdot T_s}{L_f} \cdot \frac{\delta \cdot (1-\delta)^2}{2}$$

$I_{Lf,b} = I_{i,b}$



Τέλος Διάλεξης



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «**Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση**» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Εμμανουήλ Τατάκης 2014. Εμμανουήλ Τατάκης. «Ηλεκτρονικά Ισχύος II. Μετατροπείς Συνεχούς Τάσης σε Συνεχή». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://eclass.upatras.gr/courses/EE898/>.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Οι εικόνες των διαλέξεων δημιουργήθηκαν από τους κ. Τατάκη Εμμανουήλ, Συρίγο Στυλιανό στα πλαίσια του έργου «Ανοικτά ακαδημαϊκά μαθήματα Πανεπιστημίου Πατρών» εκτός κι αν αναφέρεται διαφορετικά παρακάτω:



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

